

Synchronisation in WCDMA mobile networks

Thomas Hobbins¹, Germán Calvo, Juan Schandy, Gastón Viera, Nestor Ghioldi, Javier Borca, Javier Rivero y Eduardo Obelleyro²

Recibido: Agosto 2010

Aceptado: Septiembre 2010

Resumen.- En este artículo se recopila lo especificado en las normas de la ITU-T y 3GPP en lo que refiere al sincronismo requerido en las radiobases (NodeB) de comunicaciones móviles de la tecnología WCDMA para un correcto funcionamiento de las principales funcionalidades de la misma.

Si bien la norma prevé dos variantes de WCDMA, FDD y TDD, las redes actuales implementan la primera, en que se utiliza distintos canales en frecuencia para el uplink que para el downlink. Adicionalmente la evolución de la tecnología permitió que el tráfico de los NodeB pudiera ser transmitido sobre IP/Ethernet.

En las normas se diferencia el sincronismo de frecuencia, sincronismo de fase y sincronismo de tiempo. Transmitir tráfico sobre IP/Ethernet presenta nuevos desafíos desde el punto de vista del sincronismo que las anteriores tecnologías TDM no sufrían.

Un estudio en campo sobre una red WCDMA FDD estudiando el sincronismo y sus efectos muestra los resultados de implementar distintos mecanismos de sincronización entre nodos de una red de telefonía móvil. Se confirma la importancia del estado de sincronización que requieren los nodos, y se confirman los problemas de no contar con un mecanismo de priorización de tráfico crítico en una red de transporte de paquetes.

Palabras Claves: WCDMA, transporte Ethernet, sincronismo, NTP

Summary.- This article resumes technical specifications dealt with in ITU-T and 3GPP reviewing required synchronization in WCDMA type of mobile communications' radiobases (NodeB) for the proper behavior of the main functionalities.

Though the specifications define two types of WCDMA, FDD and TDD, networks nowadays are deploying the first one, by separating uplink from downlink in different frequency bands. In addition, technical evolution allowed for NodeB traffic to be transported over IP/Ethernet networks. Specifications differentiate frequency synchronization, phase synchronization and time synchronization. Transmission of traffic over IP/Ethernet uncover new problems synchronization-wise which previous TDM technologies did not suffer.

A field study on a FDD WCDMA network analyzing synchronism and its effects on traffic shows the results of deploying different synchronization mechanisms between nodes in a mobile telephony network. The importance of synchronized state required by the nodes is confirmed, as are the problems when a critical traffic prioritization mechanism is not implemented in a packet transport network.

Keywords: WCDMA, Ethernet transport, synchronism, NTP

¹ Ing. Elect.; Docente de Telefonía y Proyecto (Universidad de Montevideo); Telefónica Móviles Uruguay thobbins@ieee.org

² Ings: Telefónica Móviles Uruguay

1. Introducción.- Una correcta sincronización de los nodos de una red es fundamental para lograr un servicio adecuado.

En redes de servicios de telecomunicaciones móviles – como puede ser telefonía móvil y el últimamente en aumento banda ancha móvil – la calidad de esta sincronización impacta en varios aspectos y servicios que pueden perjudicar la percepción que el cliente tendrá del mismo: impacta directamente en el éxito de la ejecución de los handover; también afecta la frecuencia de la portadora en el aire, por lo cual la calidad de sincronización de la red disminuye la interferencia entre celdas adyacentes; para aquellos casos en que se implemente la red con tecnología basada en TDD (Time Division Duplex) a diferencia de las FDD (Frequency Division Duplex), es necesario que cada NodeB esperen al instante adjudicado a él para utilizar el canal; el servicio de Localización del UE (user equipment, término con el que se denomina al dispositivo móvil del usuario) mediante triangulación también depende de la calidad de sincronización de la red.

Con la evolución de UMTS se fueron mejorando las prestaciones favoreciendo el advenimiento de mayores velocidades; esto presentó un problema para las interfaces tradicionales E1s (IMA ATM) con las que hasta ese momento se había implementado el backhaul obligando a especificar la interconexión de los NodeB con el RNC a través de una interface física tipo Ethernet. El transporte de sincronismo sobre las primeras interfaces E1s estaba resuelto por ser estas sincrónicas, sin embargo en las nuevas interfaces Ethernet no sincrónicas la solución presentó un desafío.

En este artículo se investiga el efecto de sincronismo sobre redes de servicios de telecomunicaciones móviles 3G UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) según el estándar especificado en la organización 3GPP (3rd Generation Partnership Project) y también conocido como WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)

2. Tipos de Sincronización.- En la recomendación ITU-T G.8261 se identifican principalmente tres tipos de sincronización. Cada aplicación tendrá distintas necesidades en cuanto a sincronismo, y es necesario que la red de transporte sea capaz de atender esa necesidad; en caso contrario el operador se verá obligado a resolverlo por fuera de la red de transporte agregando aún más elementos a la ya complicada red.

Los tres tipos de sincronización son:

- Sincronización de frecuencia
- Sincronización de fase
- Sincronización de tiempo

La sincronización de frecuencia está relacionada con el alineamiento de los relojes en frecuencia, también conocido como sintonización donde los relojes oscilan a la misma frecuencia. La sincronización de fase implica que dos relojes están alineados en fase, es decir, sincronización de tiempo relativo. Sincronización de tiempo es también conocido como time-of-day (hora del día), donde los relojes están relacionados a una base de tiempo común y universal (ejemplo UTC). En el caso que dos relojes estén sincronizados en tiempo y en fase, también lo estarán en frecuencia.

La necesidad de utilizar uno y otro de estos tipos de sincronización varía de una arquitectura de red a otra.

Algunas sólo requerirán sincronización de frecuencia; otras requerirán una combinación de frecuencia y tiempo/fase. Por ejemplo, GSM (Groupe Special Mobile) y UMTS FDD requieren

sincronización de frecuencia, mientras que UMTS TDD y TD-SCDMA (Time Division – Synchronous Code Division Multiple Access) requieren sincronización tanto de frecuencia como de fase. CDMA2000 estandarizado por el grupo 3GPP2 requiere sincronización de frecuencia y de tiempo.

Este trabajo muestra los resultados del estudio de sincronización en una red UMTS.

3. Arquitectura de la red UMTS.- En el siguiente diagrama se identifican los principales elementos de una red UMTS.

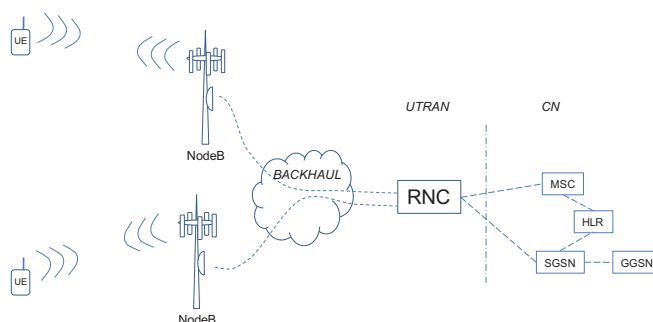


Figura 1.- Arquitectura UMTS

La sección UTRAN resuelve la necesidad que tiene un usuario de conectar su UE (user equipment) o dispositivo de comunicación móvil con el MSC (mobile switching center - centro de procesamiento de llamadas). Para dar mejor y mayor cobertura se despliegan en el área de servicio una gran cantidad de NodeB (término con el que se denomina a las radiobases en UMTS) que son controladas centralizadamente desde un RNC (radio network controller). Estos NodeB generan las comunicaciones radioeléctricas en el aire que “dan señal” a los usuarios. Los NodeB y el RNC integran el UTRAN, y el tramo de red que los une se denomina “backhaul”. El backhaul puede ser inalámbrico, puede ser sobre fibra, sobre cobre o sobre combinaciones de todos.

El MSC se encuentra en el corazón de la red o CN (core network) - es aquel lugar donde se procesan y enrutan las llamadas hacia su destino. También en el CN se encuentran otros elementos que implementan las funciones accesorias de la telefonía (por ejemplo el HLR para identificación de los clientes y los servicios que tienen contratados) y otros servicios como la conectividad de datos (SGSN, GGSN).

4. Sincronización en la red.- La estandarización otorga flexibilidad a los operadores previendo que puedan utilizar en el backhaul las tradicionales redes de transporte síncronas (PDH/SDH y también ATM) así como las nuevas redes de transporte asíncronas de paquetes (ethernet - IP/MPLS) según se detalla en la especificación técnica TS-25.411 elaborada por el grupo 3GPP. Sin embargo las primeras y las segundas no tienen las mismas propiedades en cuanto a su capacidad de transportar las referencias de reloj. En el Release 9 de diciembre 2009 la especificación TS-25.402 (Synchronisation in UTRAN Stage 2) están establecidos todos los procesos que regulan los aspectos de sincronismo. Comienza definiendo varios de los elementos esenciales para la sincronización del UTRAN que se indican en la siguiente figura.

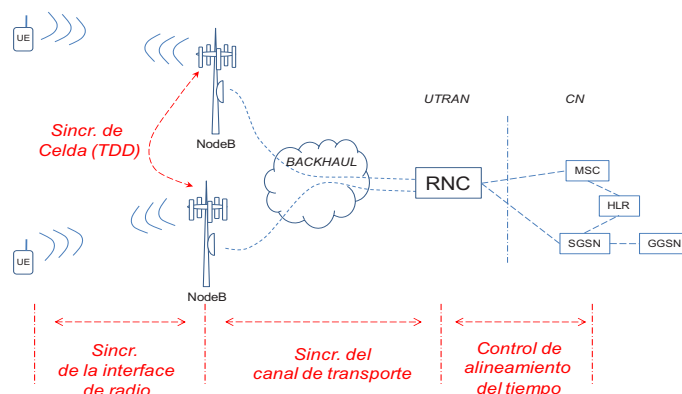


Figura 2.- Sincronización en UTRAN

- Sincronización de red
- Sincronización de nodo
- Sincronización del canal de transporte
- Sincronización de la interface de radio
- Control del alineamiento del tiempo
- Sincronización en el uplink

La **sincronización de red** está referida a la distribución de referencias de sincronismo entre los nodos y la estabilidad de sus relojes. La distribución de una referencia de frecuencia precisa (mejor que 0,05ppm) es necesaria para la correcta generación de las portadoras de frecuencia en el aire, tanto FDD como TDD, siendo deseable que pueda ser trazable hasta una fuente de sincronismo G.811.

La **sincronización de nodo** está referida a la estimación y compensación de diferencias temporales entre distintos nodos del UTRAN. Tecnologías FDD y TDD especifican distintas precisiones a la estimación de este parámetro. Funcionalidades de posicionamiento para localización también especificarán valores para este parámetro.

La **sincronización del canal de transporte** refiere al alineamiento de la trama de transporte entre el RNC y los NodeB.

La **sincronización de la interface de radio** refiere al alineamiento de la trama de transporte en el aire en el downlink si se utiliza FDD o en ambos sentidos si se utiliza TDD. En FDD es necesario para que un UE reciba tramas alineadas desde distintos NodeB, con la finalidad de minimizar los buffers en los UE. En TDD se usa para sincronización de celdas de forma de alinear tramas de celdas adyacentes minimizando así la interferencia y para simplificar procesos que involucran varias celdas como ser el handover.

El **control de alineamiento del tiempo** refiere al control de la temporización de la transmisión desde el CN hacia los RNC para minimizar el tamaño de buffers en los RNC. Este procedimiento es controlado desde el SRNC.

La **sincronización en el uplink** refiere a la sincronización necesaria en sistemas TDD.

En la misma especificación técnica se definen **Contadores**. Para el correcto manejo de los procedimientos de sincronización entre los nodos se establecen una serie de contadores: BFN=nodeBFrameNumber, RFN=RNCFrameNumber, etc.

A raíz de que el cambio se está produciendo en el backhaul, la preocupación se centra en mantener la sincronización del canal de transporte como se lograba con un backhaul sincrónico.

5. Sincronización del canal de transporte – de Tiempo y de Frecuencia.- En UTRAN no es estrictamente necesario que todos los nodos manejen la misma referencia de tiempo, es decir, aunque dos nodos estén sincronizados en frecuencia, no es necesario que lo estén en fase; lo cual puede observarse en la siguiente figura que muestra los Contadores para un RNC y dos NodeB. Para compensar esa diferencia de fase, se pueden implementar buffers en los nodos que almacenan los datos hasta que llegue el instante en que deben enviarse.

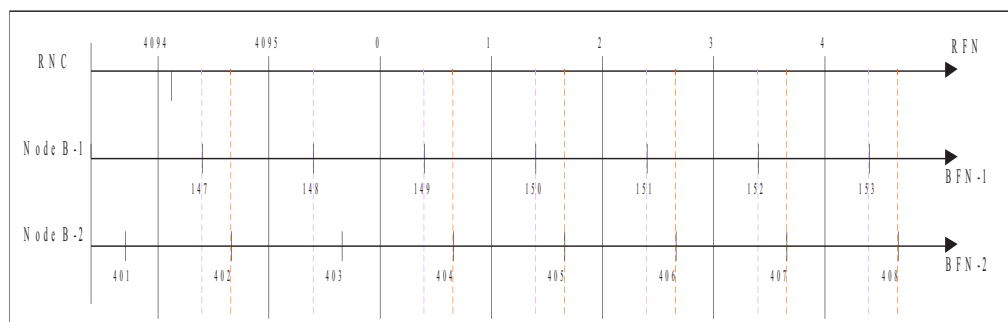


Figura 3.- Uso de contadores para sincronización entre nodos en UTRAN

Sin embargo, para minimizar dicho buffering y su correspondiente delay de transmisión es útil estimar las diferencias de tiempo entre el RNC y los NodeB. En TDD se requiere que todos los nodos manejen la misma referencia de tiempo para realizar la sincronización de celda ya que deben coordinar con exactitud el instante en que cada uno ocupa el canal.

A partir del análisis de varias normas se resume en la siguiente tabla los requerimientos de sincronización de varias tecnologías de comunicaciones inalámbricas.

Standard	Freq (clock)	Phase (time)
GSM	0.05ppm	NA
WCDMA	0.05ppm	NA
TD-SCDMA	0.05ppm	3μs
CDMA2000	0.05ppm	3μs
WiMax FDD	0.05ppm	NA
WiMax TDD	0.05ppm	1μs *
LTE	0.05ppm	0.1 μs – 0.4 μs

* depende de algunos parámetros y puede requerirse entre 0,5 s y 5 s

6. Análisis de Campo

6.1. La red y el problema.- Con la evolución de las especificaciones técnicas de UMTS se fueron mejorando las prestaciones de datos, en particular a través del aumento de la velocidad de acceso ofrecida a los usuarios a través de HSPA (High Speed Packet Access). Sin embargo, el advenimiento de mayores velocidades presentó un problema para las interfaces tradicionales E1s (IMA ATM) con las que hasta ese momento se había implementado el backhaul: su poca capacidad y su falta de flexibilidad para adaptarse al aumento obligó a especificar la interconexión de los NodeB con el RNC a través de una interface física tipo Ethernet.

Este cambio generó la pérdida de una de las más importantes características de las E1: su condición de síncrona, es decir, su capacidad de transportar una referencia de reloj de un extremo a otro sin sufrir alteraciones condicionadas por el tráfico que por ella se pudiera transportar. Entre las soluciones desarrolladas para atender este punto encontramos soluciones de distribución de reloj a través de NTP, GPS, Synchronous Ethernet y PTP. Este artículo no profundiza en las ventajas y desventajas de cada una. Sin embargo el estado del arte de los desarrollos y de las posibilidades de integración entre los NodeB, RNC y los equipos de backhaul llevó a que en la red sobre la que se trabajó se implemente una solución con NTP.

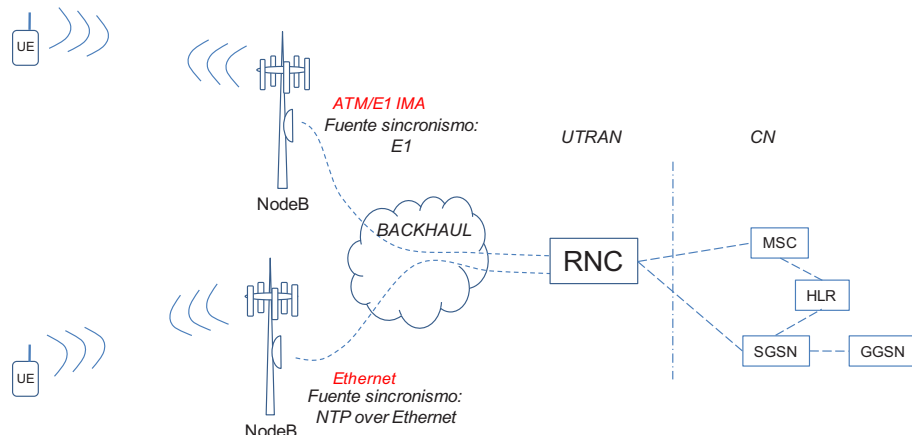


Figura 4.- Interfaces de nodosB hacia la red Backhaul

Entre los primeros que se habilitan con esta nueva interface se detecta en un NodeB (NB15) una incapacidad de realizar hand-overs hacia y desde otras vecinas, e incluso de a ratos queda fuera de servicio. Luego de analizar algunos parámetros de funcionamiento básico del nodo se orientó el análisis hacia aspectos de sincronismo – con la migración a un backhaul basado en transporte de Ethernet, a diferencia del transporte de E1 anterior, se comenzaba por primera vez a trabajar con nodos sincronizados a través del protocolo NTP.

En base a los contadores que existen en el RNC para monitorear el comportamiento del tráfico, se confeccionó un reporte que permite ver el retardo y variación del protocolo NTP utilizado para la sincronización del NodeB con interfaz Ethernet.

Se observa en la Tabla I que existen en la red varios NodeB (resaltados con rojo, incluyendo el NB15) con niveles de variación en el retardo del protocolo NTP varias veces mayores que el resto de los sitios.

27/04/2010	NB1	NB2	NB3	NB4	NB5	NB6	NB7	NB8	NB9	NB10	NB11	NB12	NB13	NB14	NB15
AVG_pmHDelayVarBest1Pct	14	116	28	14	17	1028	23		20	1024	17	1031	1058	21	1042
AVG_pmHDelayVarBest10Pct	26	236	39	39	47	1157	43		38	1136	36	1136	1323	40	1175
AVG_pmHDelayVarBest50Pct	82	507	73	144	231	1645	150		83	1542	78	1544	2038	88	1664
AVG_pmLubLinkDynamicDelayMax	102	121	101	127	200	356	146		104	285	173	313	403	152	1398

Tabla I

6.2. Especificaciones Técnicas.- ¿Cuáles serían los valores aceptables para que el NTP funcione correctamente? La sincronización de red para los casos en que los NodeB se conectan con interfases asíncronas (Ethernet-IP/MPLS) se logra mediante la alineación de frecuencia de la radiobase con la frecuencia de un servidor NTP (que a su vez se puede trazar a una fuente G.811).

La performance de estos métodos adaptativos de recuperación del reloj está impactada por el PDV (packet delay variation) que impone la red. Por lo tanto, es extremadamente importante realizar una buena ingeniería de tráfico transportando el flujo de temporización (ej NTP) en un canal que minimice el impacto de los problemas de las redes de paquetes; el tiempo de procesamiento de paquetes y buffering en equipos de la red así como la convergencia de múltiples fuentes a una misma salida de datos generan delay no determinístico, e incluso pérdida de paquetes. Una parte de la solución a estos problemas puede ser asignar la más alta prioridad a ese flujo. La naturaleza compartida de las redes de paquetes hace que, a pesar de asignar prioridades, alguna interferencia siempre existirá.

En la red del caso, el SNTP está integrado al RNC, y en lugar de utilizar el algoritmo especificado por el IETF, se utiliza un algoritmo propietario (SoIP=Synchronization over IP) para sincronización.

El cliente SoIP envía requests a intervalos de tiempo regulares (entre 1 y 10 requests por segundo). La respuesta arribará con un PDV que presenta una distribución normal.

Según reza la recomendación G.8261 del año 2008 de ITU-T, aún no hay una métrica estandarizada para cuantificar el PDV, sin embargo el fabricante de los equipos utilizados define que una señal de referencia es aceptable cuando:

- El 1% de los paquetes de menor delay presentan un máximo de 20 μ s
- La PDV presenta una distribución aproximadamente normal con 99% de las medidas de menos de 300 μ s

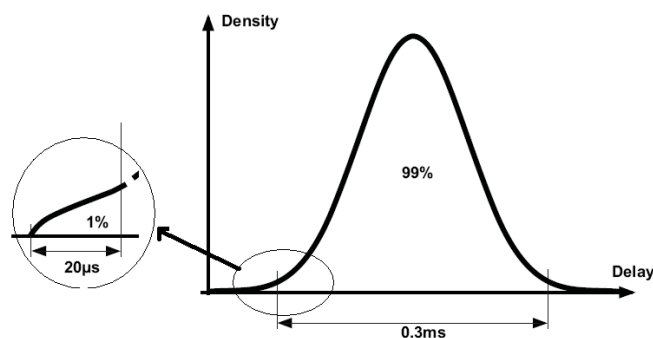


Figura 5.- Distribución de probabilidades de variación de delay de paquetes

En cuanto a la adaptación del reloj interno a la nueva referencia (la red) se requiere un tiempo de estabilización hasta que se ajuste la fase. También en G.8261 se indica que, si bien no existe aún una recomendación al respecto de los períodos de estabilización, para algunas pruebas se utiliza 900s. Así, si el NodeB no está sincronizado o pierde sincronización deberá estar en un estado de estabilización durante 15 minutos antes de cambiar a un estado de sincronizado.

En el caso de que no se cumpla la segunda de las condiciones anteriores, i.e. el 99% de las medidas supere los 300 μ s, en vez de descartar completamente la fuente, el sistema se toma más tiempo para estabilizar (si es menos de 3ms tomará 60min, si es menos de 10ms tomará 180min)

6.3. Causa.- Así se revisaron los mecanismos de transporte del backhaul: radios, multiplexores o configuración de los mismos, tratando de identificar algo en común entre ellos que indique un posible motivo para tal diferencia.

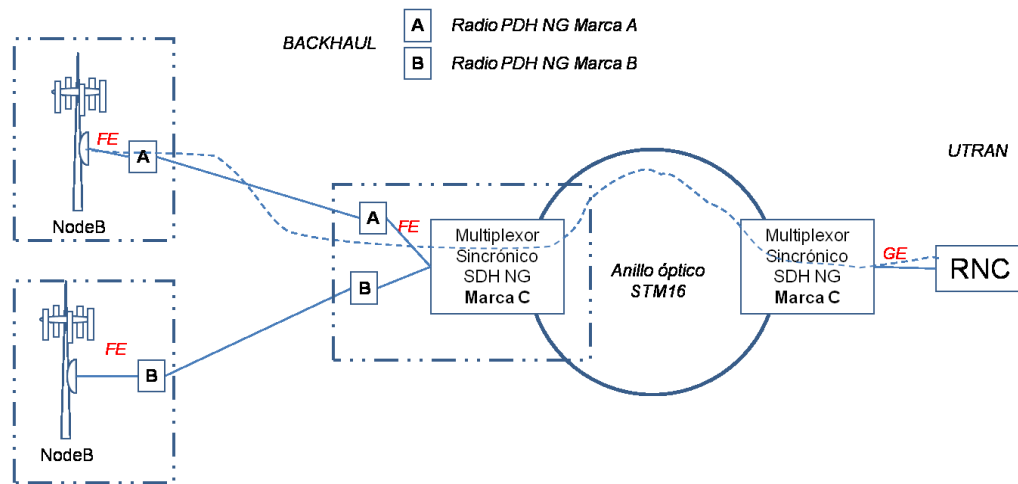


Figura 6.- Implementación del Backhaul de Ethernet sobre SDH NG

Existen en la red distintos escenarios, entre los que detectamos los dos casos que se observan en la figura: el transporte del servicio Ethernet sobre la red de backhaul se realiza adaptando las tramas Ethernet a un formato sincrónico (E1) con mecanismos de GFP estándares para ser llevado sobre radios PDH NG hasta un punto de agregación. En ese punto se entregan las tramas Ethernet a una red SDH NG que nuevamente lo adapta a E1 también con GFP. En todos los casos los dispositivos utilizados presentan funcionalidades de calidad de servicio de forma de - en caso de congestión o concurrencia (cuando dos tramas Ethernet necesitan de ser colocadas en una misma interface simultáneamente) - exista un algoritmo que atiende una de ellas primero basado en criterios de prioridad por importancia del contenido de la trama.

Analizados los datos y las arquitecturas del backhaul para cada NodeB se detectó que aquellos NodeB que presentaban valores de variación de delay mayores utilizaban radios PDH NG de marca A.

6.4. Solución E1.- La solución más ortodoxa se consigue sincronizando el NodeB con una fuente E1 sincrónica por fuera de la interface de tráfico que está siendo utilizada. Así, se requiere más hardware, tanto en el NodeB como en el equipo de radio que realiza el backhaul.

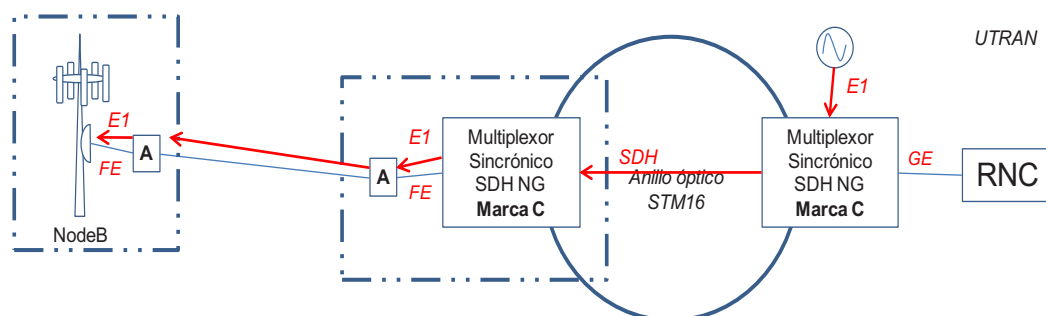


Figura 7.- Solución sincronizando con E1 (out-of-band)

Esta solución se implantó en el NodeB NB15 el 28/04/2010 aproximadamente a las 11:30h. Los resultados son los esperados, funcionando ese NodeB a la perfección a partir de ese momento. Naturalmente dejó de utilizarse el servicio NTP por lo que no existió más variación de delay en su llegada al NodeB, como se observa en la Tabla II.

30/05/2010	NB1	NB2	NB3	NB4	NB5	NB6	NB7	NB8	NB9	NB10	NB11	NB12	NB13	NB14	NB15
AVG_pmHDelayVarBest1Pct	14	120	28	14	19	1025	21	236	20	1027	19	1033	1100	22	0
AVG_pmHDelayVarBest10Pct	30	238	41	41	52	1174	41	575	39	1136	39	1136	1412	42	0
AVG_pmHDelayVarBest50Pct	93	515	78	163	263	1703	147	1427	94	1540	88	1543	2063	106	0
AVG_pmIubLinkDynamicDelayMax	105	197	101	129	199	375	132	0	100	279	179	304	406	133	335

Tabla II

6.5. Solución Ethernet Extrangulado.- Una solución menos costosa puede ser una mediante la cual se sincroniza el NodeB con NTP consultado a través del puerto Ethernet, pero utilizando para el backhaul de ese puerto hasta el RNC un equipo en el camino que estrangule el tráfico aplicando *eficazmente* algoritmos de priorización de tráfico. Considerando que el PDH NG Marca A no logra una priorización efectiva resulta necesario realizarlo aguas arriba, en el multiplexor SDH NG. Esto naturalmente sólo tendrá efecto en el tráfico “downlink”, es decir, en el sentido desde el RNC hacia el NodeB, que por otro lado es el más afectado por congestión ya que es estadísticamente mucho mayor que el tráfico “uplink”.

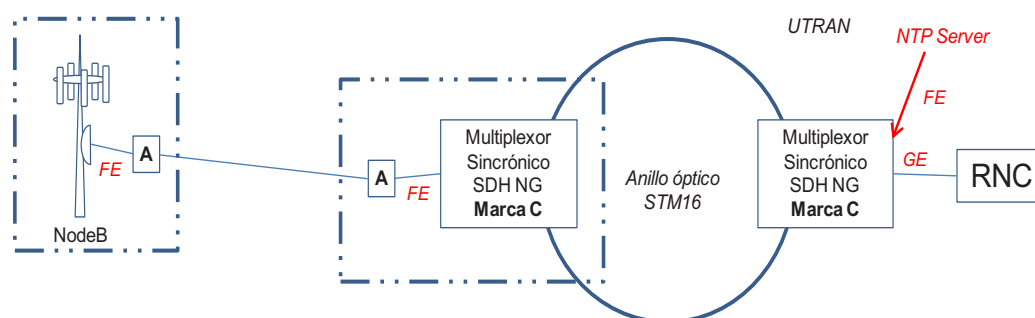


Figura 8.- Solución sincronizando con NTP

Luego de revisar los “drivetest”, y verificando que la diferencia en calidad entre las pruebas con la sincronización tomada del E1 y a través de Eth con el ancho de banda estrangulado a 14 Mbps en el multiplexor SDG NG, era despreciable, se decidió seguir adelante con la prueba de la “extrangulación”.

Desde el 7/6/2010 a las 11:30 aproximadamente el NodeB NB8 se encuentra sincronizada a través de NTP por la interfaz Ethernet, teniendo el primer salto desde el RNC con Calidad de Servicio y extrangulado a 14 Mbps (2 menos que la capacidad del salto final hacia el sitio que es un radio PDH NG de marca A con 16 Mbps de ancho de banda) en el multiplexor.

Desde dicha fecha, no hubo falla alguna reportada en las alarmas del NodeB; se observa en Tabla III que la variación en tiempo de delay de llegada de paquetes NTP.

15/06/2010	NB1	NB2	NB3	NB4	NB5	NB6	NB7	NB8	NB9	NB10	NB11	NB12	NB13	NB14	NB15
AVG_pmHDelayVarBest1Pct	13	106	25	12	12	1025	24	313	20	1032	17	1030	1095	19	0
AVG_pmHDelayVarBest10Pct	29	216	40	32	38	1160	44	831	36	1129	36	1132	1401	39	0
AVG_pmHDelayVarBest50Pct	87	478	77	117	177	1662	159	1469	80	1531	79	1536	2091	89	0
AVG_pmIubLinkDynamicDelayMax	105	195	101	129	194	364	124	331	100	241	156	302	402	136	330

Tabla III

En fecha posterior, el 23/6/2010 se sustituye dicho radio de transporte para el NodeB utilizando ahora una placa que soporta Calidad de Servicio (a través de priorización de tráfico en función del valor del p-bit). Como se ve comparando las Tabla III y IV, la evolución es enorme en la

disminución de la variación en los tiempos de delay de llegada de paquetes NTP en ese nodo NB8.

16/07/2010	NB1	NB2	NB3	NB4	NB5	NB6	NB7	NB8	NB9	NB10	NB11	NB12	NB13	NB14	NB15
AVG_pmHDelayVarBest1Pct	13	108	25	12	14	1042	23	16	20	1025	16	922	1106	21	0
AVG_pmHDelayVarBest10Pct	27	224	39	34	41	1170	44	33	38	1125	34	1026	1404	40	0
AVG_pmHDelayVarBest50Pct	83	499	76	124	194	1657	139	68	87	1524	75	1435	2117	89	0
AVG_pmIubLinkDynamicDelayMax	109	198	101	111	198	355	134	109	102	273	127	300	410	150	323

Tabla IV

En fecha 3/8/2010 se modificó el transporte del NodoB NB10. Su tráfico se transportaba sobre un radio igual al que usaba el NB8. La modificación consistió en implementar un cambio de configuración en los radios que permitió dar calidad de servicios priorizando los paquetes NTP en los mismos. Se observa que los valores de variación disminuyeron a valores prácticamente nulos. Incluso mejores que los obtenidos luego de sustituir los radios por otros como se hizo para el NB8.

16/08/2010	NB1	NB2	NB3	NB4	NB5	NB6	NB7	NB8	NB9	NB10	NB11	NB12	NB13	NB14	NB15
AVG_pmHDelayVarBest1Pct	14	525	23	12	13	1046	20	18	20	1	19	779	1079	23	0
AVG_pmHDelayVarBest10Pct	28	1005	39	31	35	1180	39	37	39	3	38	883	1342	40	0
AVG_pmHDelayVarBest50Pct	88	1621	76	107	150	1669	122	71	94	14	79	1291	2024	87	0
AVG_pmIubLinkDynamicDelayMax	107	325	100	118	197	336	125	102	103	100	168	306	413	173	308

Tabla V

7. Conclusión y Líneas Futuras de Investigación.- Los efectos de sincronismo de la red afectan principalmente a la percepción de calidad que un cliente pueda tener de los servicios que recibe, por lo cual es un problema que no debe desatenderse.

Que un NodeB esté sincronizado desde el RNC a través de una interface E1 es la situación óptima.

No obstante lo anterior, la sincronización utilizando NTP sobre interfaces Ethernet resuelve el problema siempre que se tengan en cuenta detalles importantes en la ingeniería de la red del backhaul.

Naturalmente la variación de retardo de llegada de paquetes no es despreciable, pero es posible alcanzar valores por debajo de los críticos. Fatal es la situación si en el backhaul no existe un efectivo tratamiento prioritario a los paquetes de NTP por sobre los de tráfico de usuario.

Analizando redes combinadas, en que parte de la misma no logra priorizar el tráfico adecuadamente, es posible disminuir el problema de variación, a través del extrangulamiento en los tramos en que se utilizan equipos que sí priorizan. Estos tramos deben estar ubicados en el camino antes de llegar a los tramos que no priorizan.

Líneas futuras de investigación se enfocarán en analizar si la PDV que presentan estas medidas se aproximan a lo requerido en la especificación técnica y determinar un mecanismo analítico en base a datos de tráfico relevados con contadores la relación entre los valores de variación de delay que siendo altos no generan pérdida de sincronismo de los NodeB.

Por otro lado, los servicios sobre los que se realizó el análisis son los más básicos de audio, conectividad de datos con handover efectivos. Nada permite concluir sobre el correcto o

incorrecto funcionamiento que pudieran tener servicios de valor agregado más avanzados como puede ser la localización.

Otro aspecto sumamente importante a tener en cuenta en el análisis es que la red sobre la que se realiza el estudio es UMTS FDD. Tampoco es posible a partir de este estudio concluir sobre el correcto o incorrecto funcionamiento de una red UMTS TDD.

8. Bibliografía

1. 3rd Generation Partnership Project 3GPP. *Technical Specification TS 25.402 V9.0.0: Synchronization in UTRAN Stage 2*, 2009.
2. International Telecommunications Union. *ITU-T Recommendation G.8261: Timing and Synchronization aspects in packet networks*, 2008.
3. Joint ITU-T/IEEE Workshop. *The Future of Ethernet Transport*, Ginebra, 2010.